

Modélisation des processus de stabilisation de la matière organique et d'émissions gazeuses lors du compostage

Jean-Marie Paillat

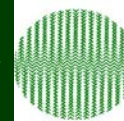
UMR INRA/Agrocampus Sol Agro et hydrosystèmes Spatialisation,
65 rue de St Brieuc, cs84215,
35042 RENNES cedex 01



UMR Sol Agro et hydro
systèmes Spatialisation



UpR Risque environnemental
lié au recyclage



INRA

Institut National de la Recherche Agronomique

Plan

Objectifs

Méthodologie d'étude des émissions gazeuses

Matériels et méthodes

1- halle expérimentale

2- gaz traceur sur site de compostage

Modélisation des émissions gazeuses

1- ajustement mathématique

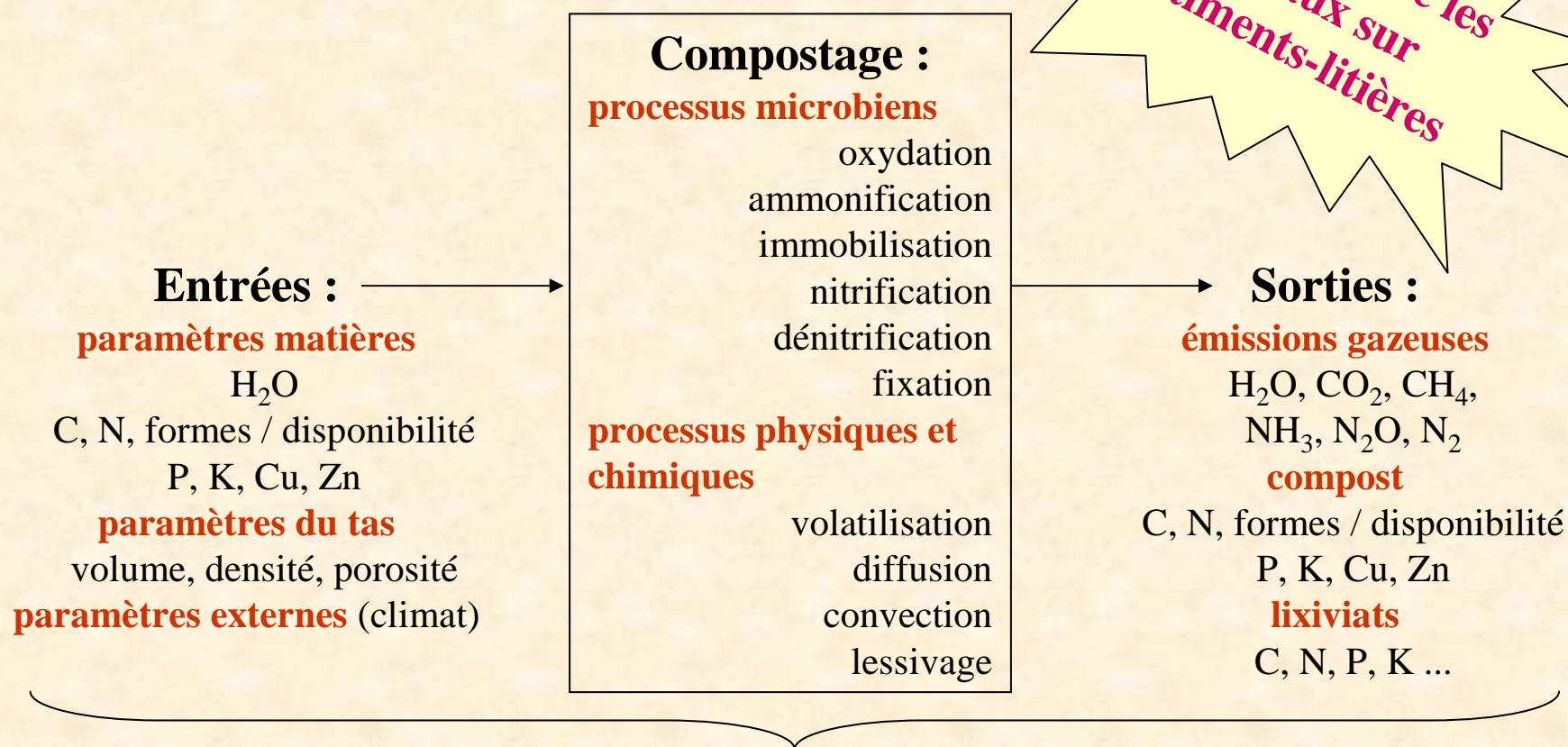
2- régression multiple

3- prédiction

Projet de thèse CIFRE

Objectifs

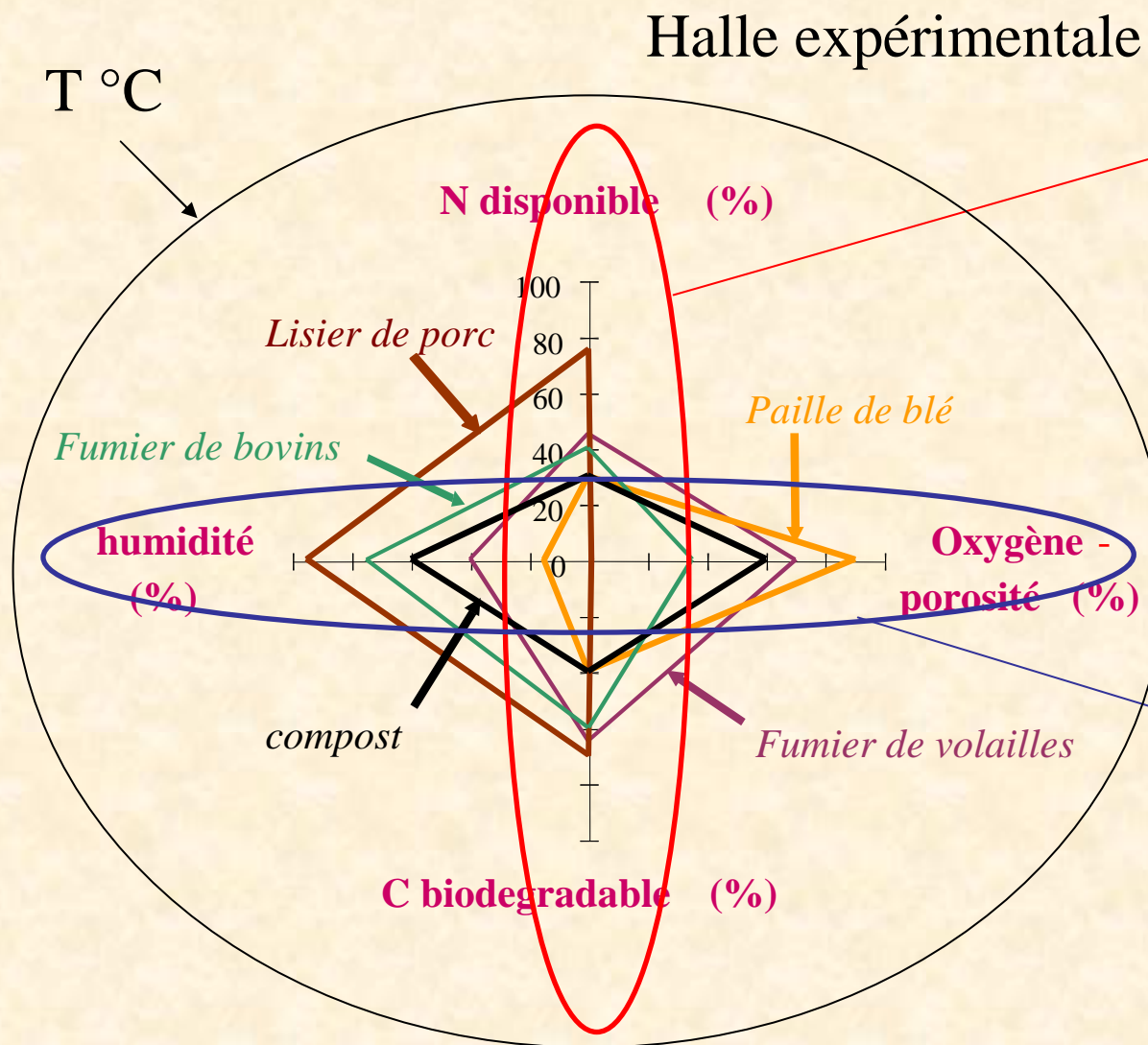
Modélisation du devenir des éléments



Evaluation environnementale
(flux de polluants, ACV)

Paramétrage de modèles de flux
(atelier, exploitation, territoire)

Méthodologie (1)



Expé 2 en 2002

lisier / fumier / paille

N disponible 0,54 à 0,87

C biodegradable 0,53 à 0,61

Expé 3 en 2003

lisier / paille / sciure

N disponible 0,66 à 0,76

C biodegradable 0,51 à 0,73

Expé 1 en 2002

fumier de volailles / eau

humidité 50 vs 70 %

porosité 0,25 à 0,70

Expé 4 en 2003

lisier / paille / sciure

humidité 50 à 82 %

porosité 0,51 à 0,70

Méthodologie (2)

Expérimentations en vraie grandeur

Expé 6 en 2004 (EDE Guernévez)

3 apports de lisier de porc sur paille de blé
humidité = 17,5 % ; porosité = 0,31
émissions gazeuses / bilan de masses
suivi sur 180 j

Expé 7 en 2004 (ITP Romillé)

fumier de porc avec/sans retournement
émissions gazeuses / bilan de masses
suivi sur 120 j

Halle expérimentale

Fumiers de volailles
1998 et 1999

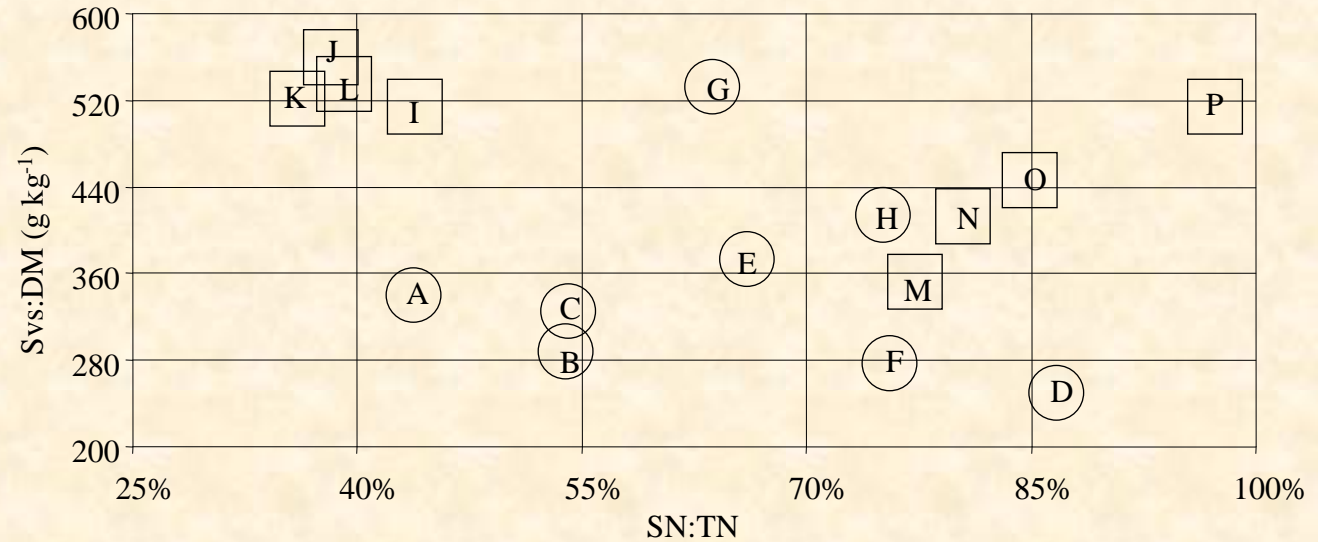
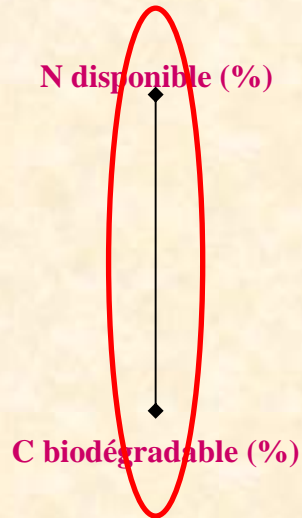
Fumier de bovins
2000

Validation modèle
« boîte noire »

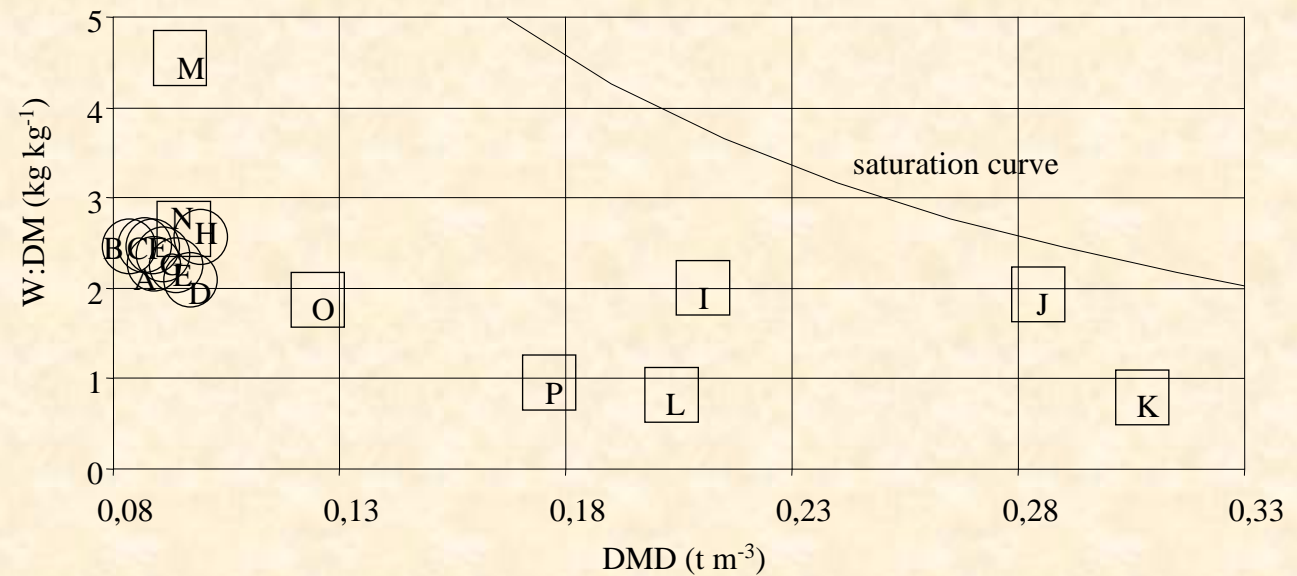
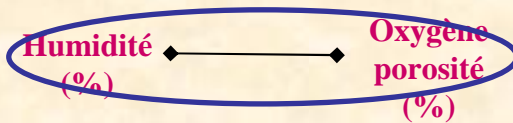


Matériels et méthodes

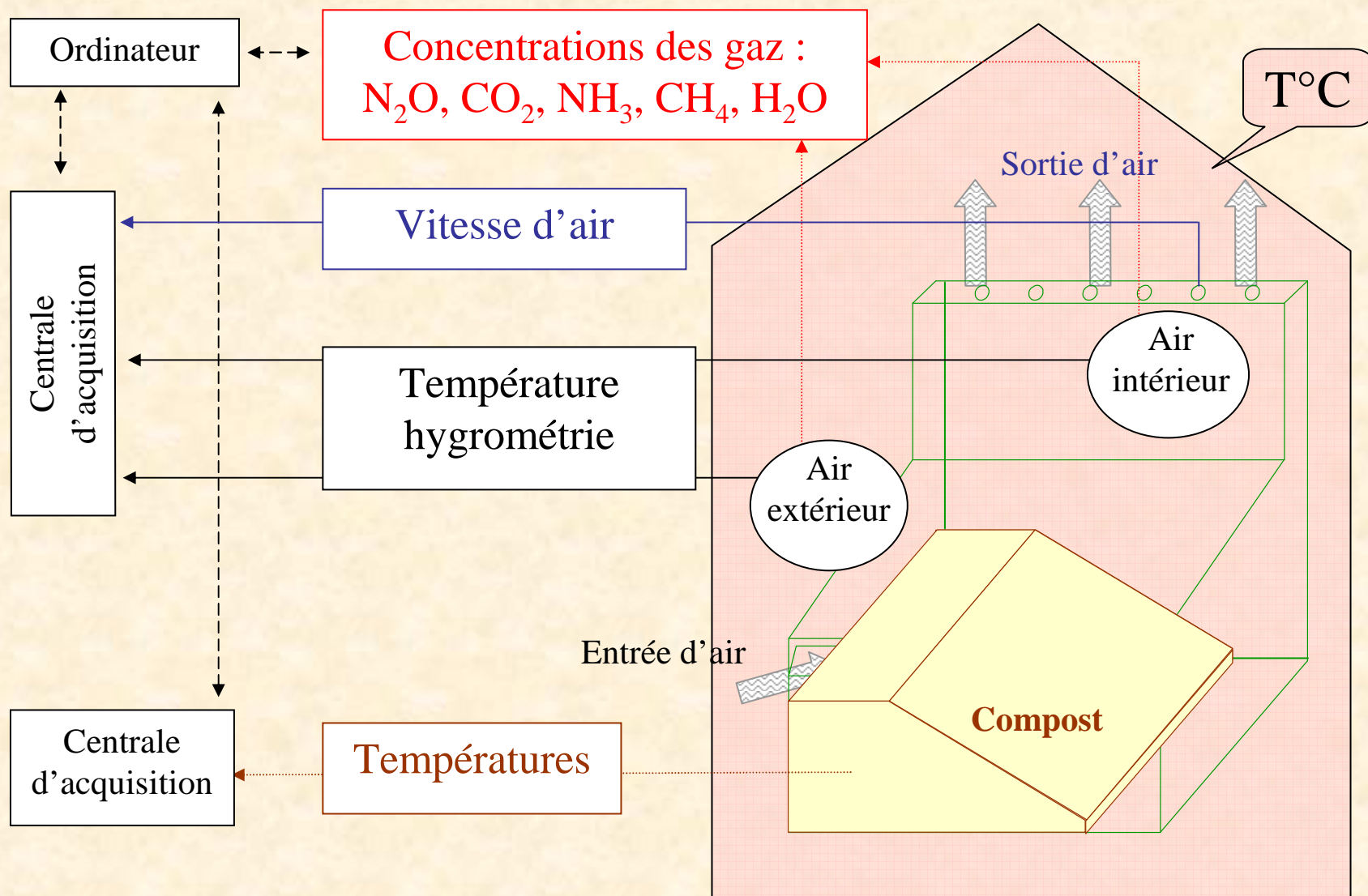
halle : expé 2 et 3



halle : expé 1 et 4



Matériels et méthodes (halle)



Matériels et méthodes (halle)

Mesures sur le compost

Tas :

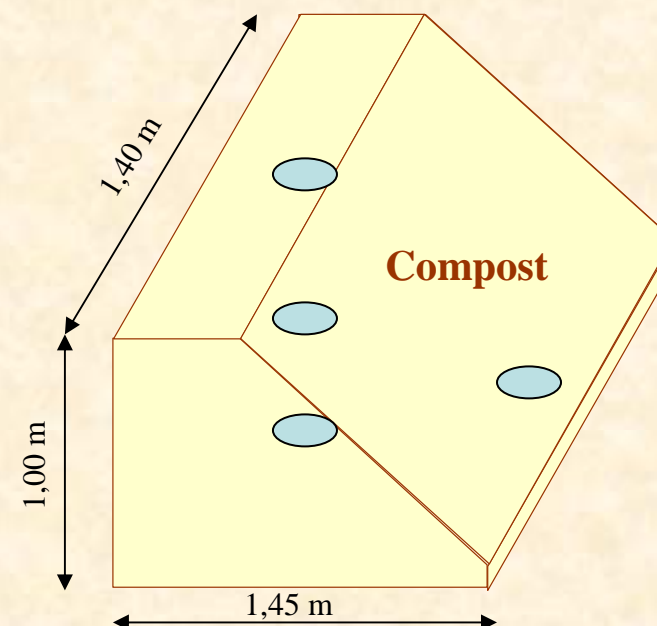
hauteur (volume)
pH surface
T surface
Masses entrée et sortie
Echantillon pour analyse

MS₁₀₅ MS₆₀ MO
NtK N-soluble
N-NH₄⁺ N-NO₃⁻
C-tot
fractions Van Soest
C N des fractions VS
P K Cu Zn

Filets :

Masses entrée et sortie
Analyse

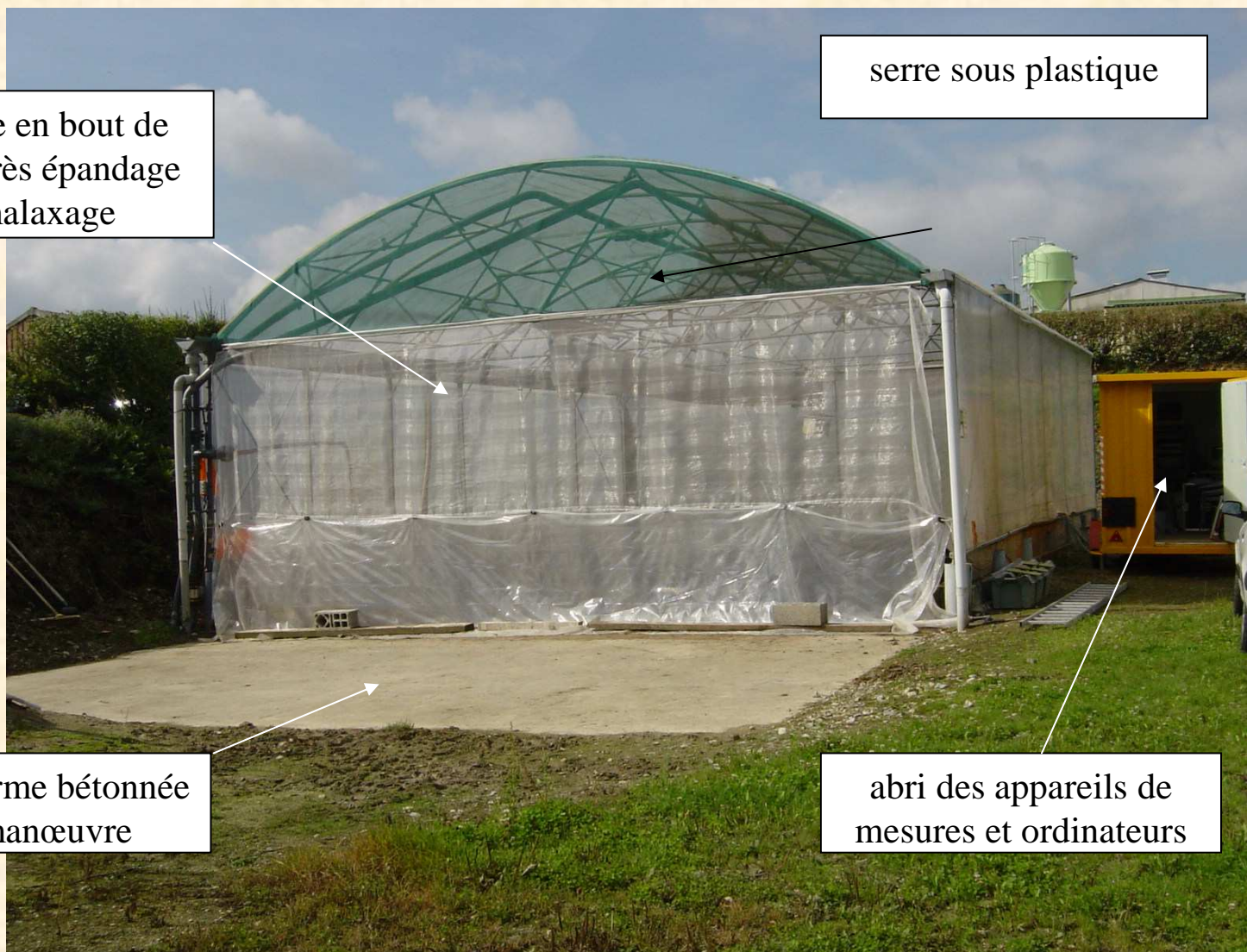
MS₁₀₅ MS₆₀ MO
NtK N-NH₄⁺
Ctot P K
¹⁵N



→ **Dynamiques internes au tas**

Bilan de masses élémentaires
Equations de prédiction des émissions

Matériels et méthodes (gaz traceur)



Matériels et méthodes (gaz traceur)



Epandage du lisier



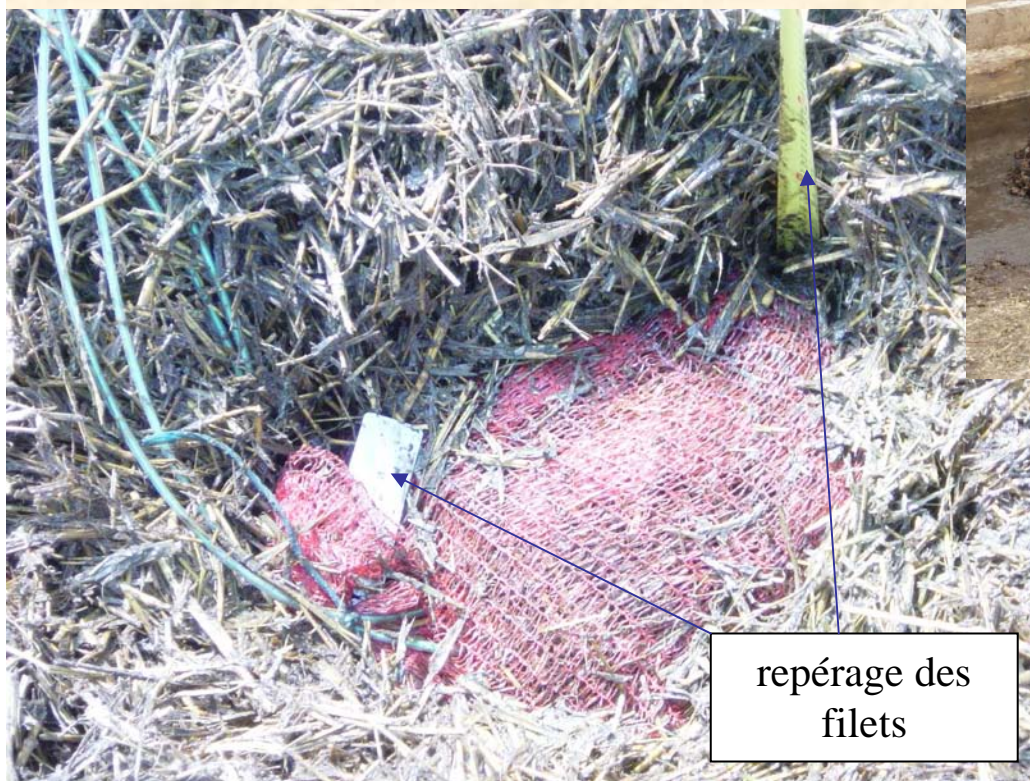
Malaxage

capteur sous abri ventilé pour la mesure de l'humidité et de la température de l'air

gaine avec ventilateur pour assurer le brassage d'air

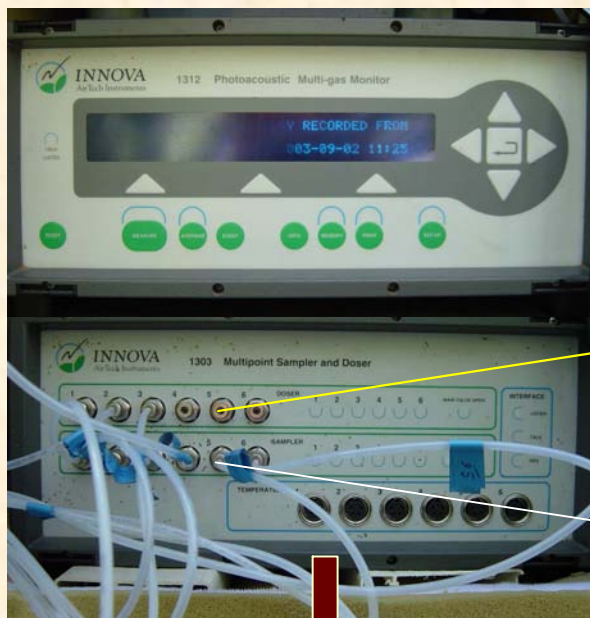
Matériels et méthodes (gaz traceur)

Filets et thermocouples



Mise en andain à J70

Matériels et méthodes (gaz traceur)



Concentrations en gaz :
 NH_3 , N_2O , CO_2 , CH_4 , SF_6

Débit d'air :
 SF_6

Emissions gazeuses



Mesures T, Hr

Bilan de masses
(C, N, P, K)

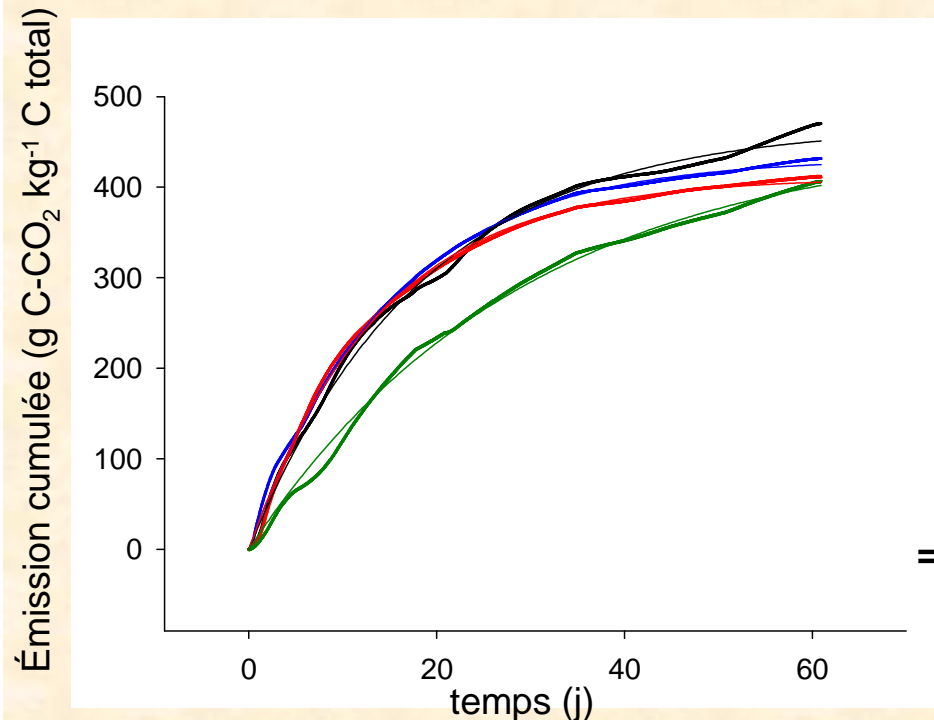
Modélisation (Ajustement mathématique)

(Kirchmann and Witter, 1989)

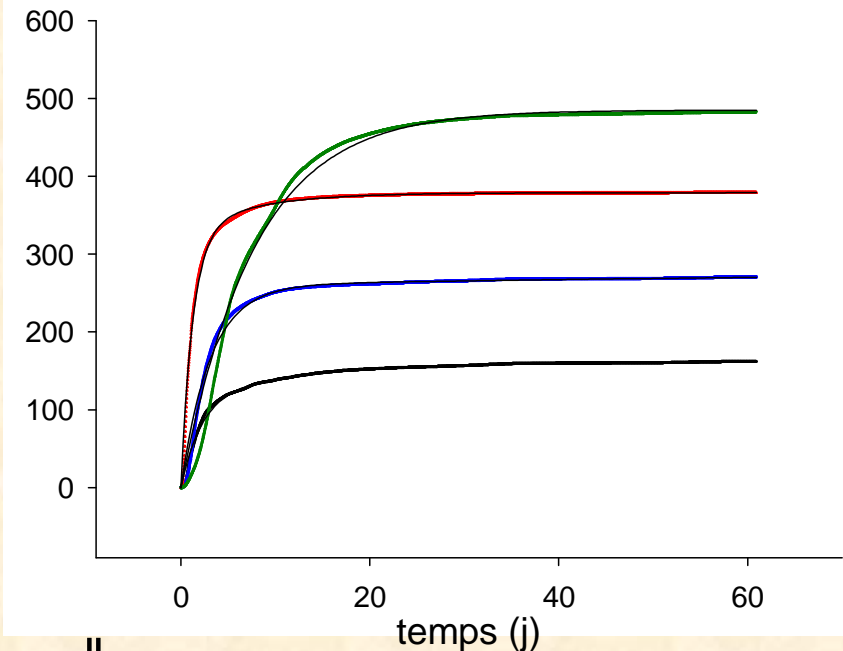
$$M = M_0 C_R (1 - e^{-k_R t}) + M_0 C_S (1 - e^{-k_S t})$$

(Bernal and Kirchmann, 1992)

$$M = M_0 C_R (1 - e^{-k_R t}) + M_0 C_S k_S t$$



Émission cumulée (g N-NH₃ kg⁻¹ N total)



4 paramètres à prédire pour N-NH₃ :

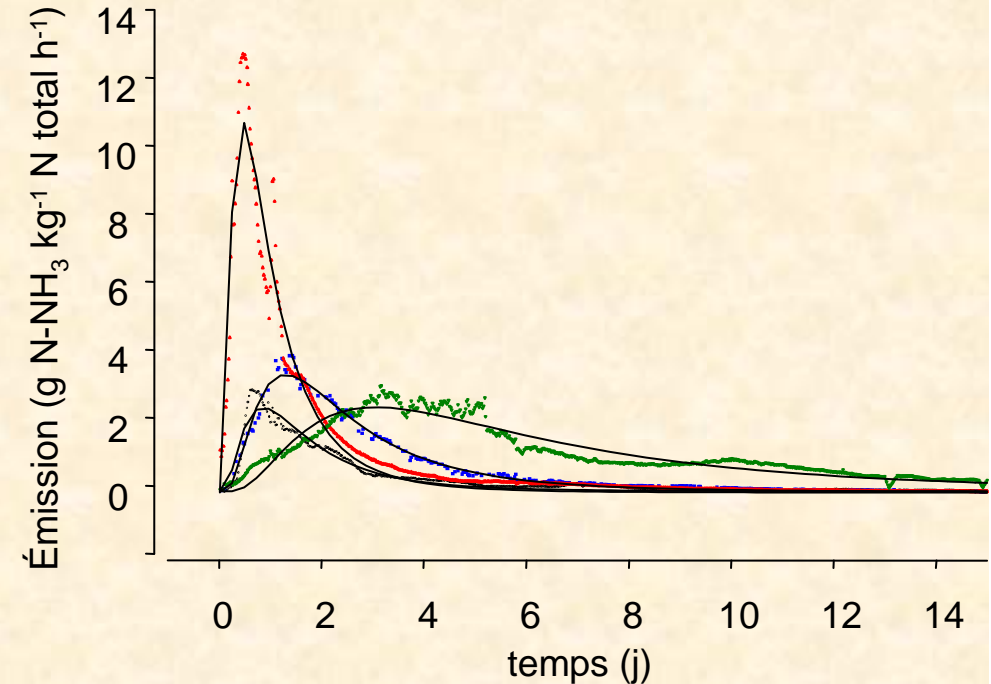
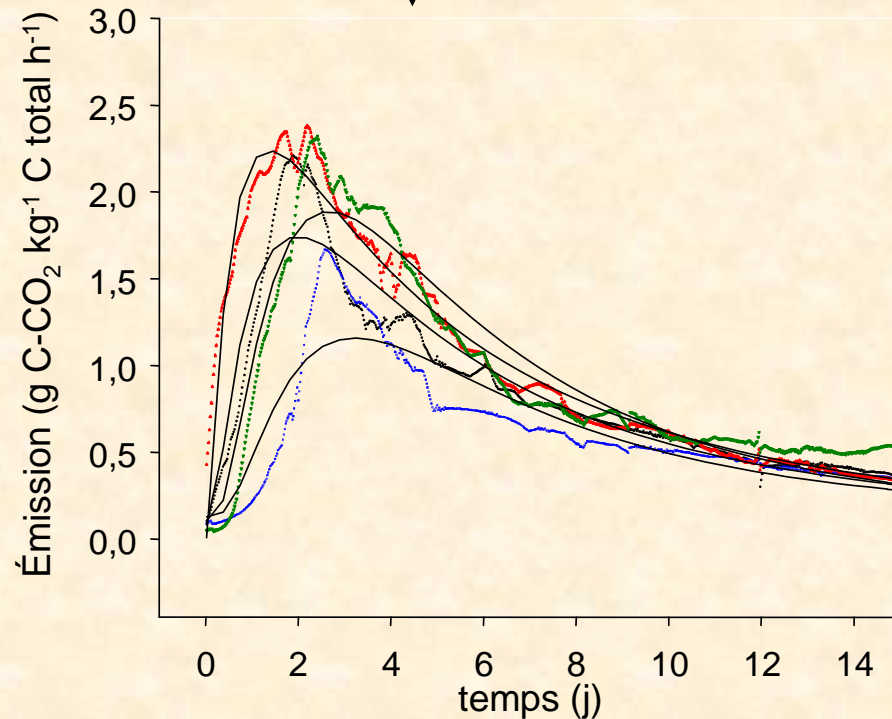
$$M_0 C_R ; M_0 C_S ; k_R ; k_S$$

⇒ 3 paramètres à prédire pour C-CO₂ et H₂O :

$$M_0 C_R ; M_0 C_S k_S ; k_R$$

Modélisation (Ajustement mathématique)

$$y = y_0 + a \cdot e^{\left[-0,5 \left(\frac{\ln\left(\frac{x}{x_0}\right)}{b} \right)^2 \right]}$$



4 paramètres à prédire pour
N-NH₃, C-CO₂ et H₂O :
 $y_0 ; x_0 ; a ; b$

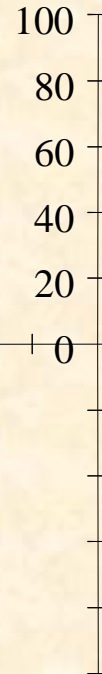
Modélisation (régression multiple)

Variables explicatives

MS
Humidité
Eau/MS
MS/eau

Humidité (%)

N disponible (%)



{
N total / MS
N soluble / MS
N soluble / N total
N-NH₄⁺ / N total

**Oxygène -
porosité (%)**

{
Porosité air
Densité MB
Densité MS

C/N
C sol VS / N soluble

C biodegradable(%)

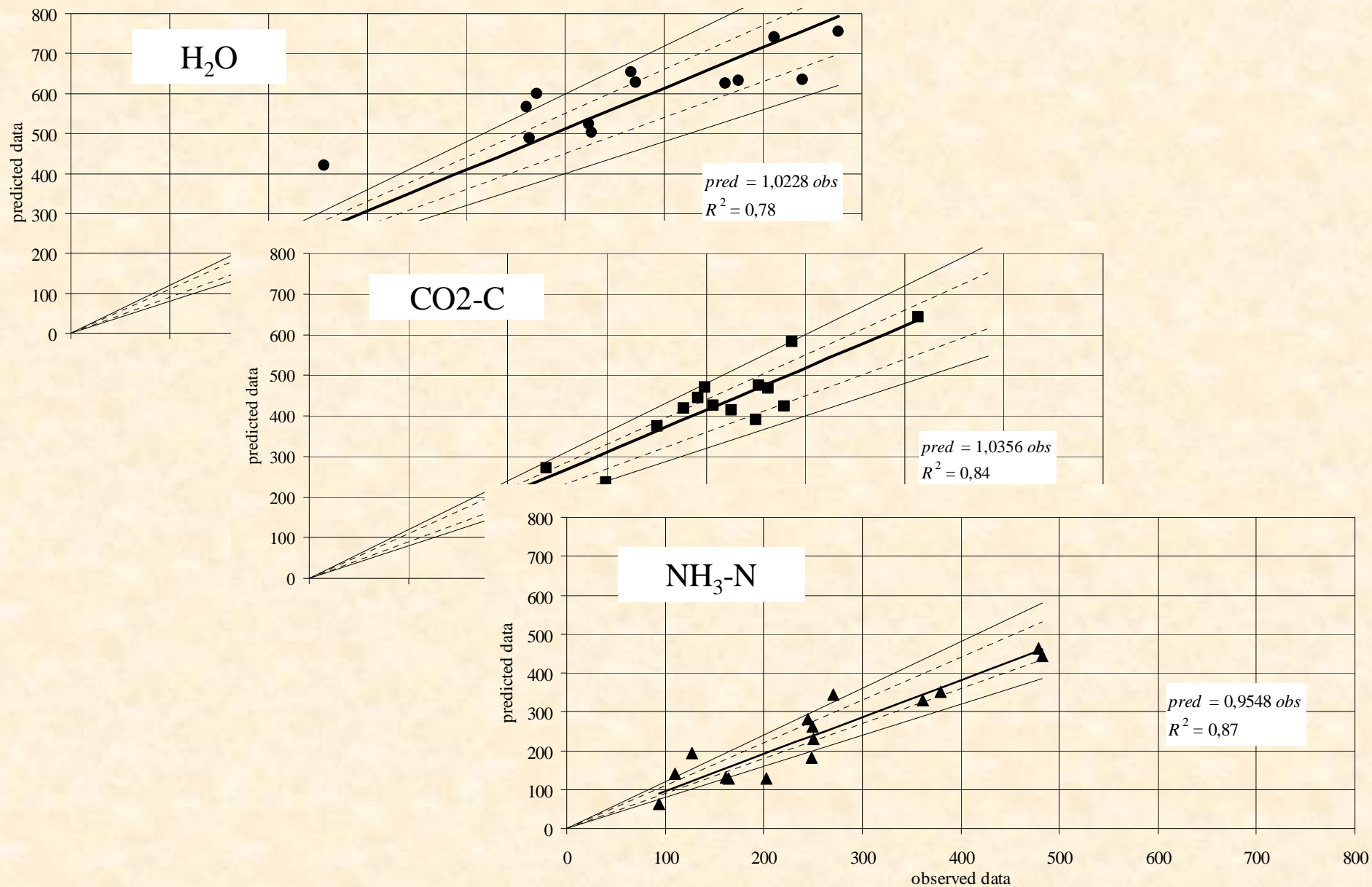
{
C total / MS
Soluble VS / MS
(Hem + Cel VS) / MS

paramètre = f(N disponible, C biodégradable, humidité, porosité)

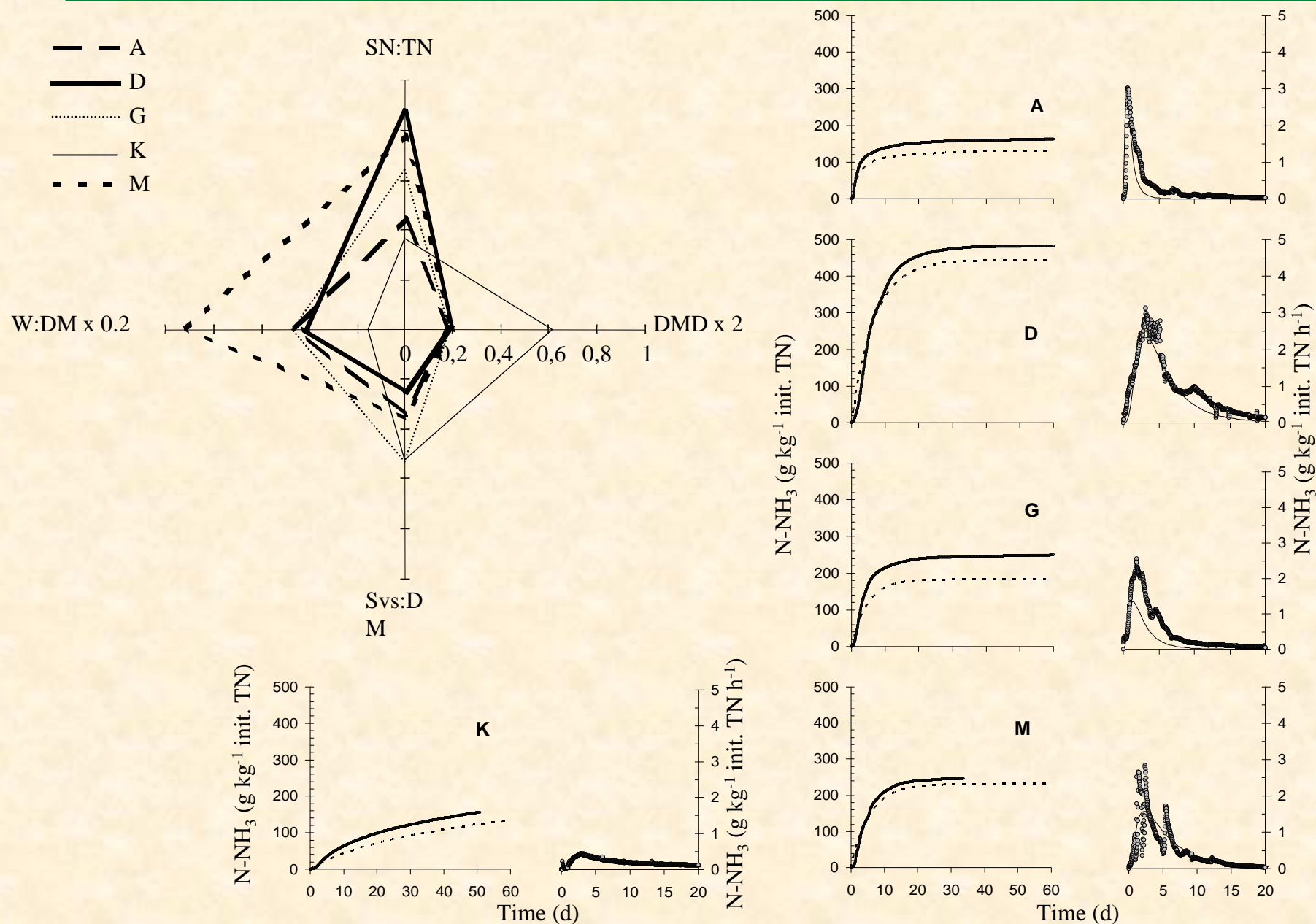
10 pour cinétiques cumulées

12 pour cinétiques instantanées

Modélisation (Prédiction des émissions)



Modélisation (Prédiction des émissions)



Projet de thèse CIFRE (1)

Objectif : Construire/valider un modèle dynamique simulant les processus de transformation de la MO lors du compostage d'effluents d'élevage

Modélisation

Modèles dynamiques existants :

Équilibres physico-chimiques (Liang *et al.*, 2004)

Transformations biologiques (Sole-Mauri *et al.*, 2006)

Validation

Halle expérimentale (quelques cas différenciés 2009)

Plateforme de compostage (chez partenaire) :

Emissions gazeuses (méthode simplifiée)

Evolution des produits dans le temps

Utilisation

Simulations successives de situations types (à définir avec partenaire industriel) permettant de :

Définir des mélanges de substrats

Proposer des modes de conduite

Pour : Contrôler les émissions

Obtenir des produits compostés valorisables

Projet de thèse CIFRE (2)

Financement nécessaire, 150 k€ sur 3 ans :

Bourse de thèse financée par filière avicole Réunion (Couvée d'or, Crête d'or, Segma, Avicom) sur convention CIFRE = 90 k€

Montage d'un dossier pour financer les déplacements (thésard + encadrement) et les expérimentations (validation sur plateforme) = 60 k€
ADEME, Région Réunion ?

Déroulement de la thèse :

Année 1, UMR SAS Rennes : bibliographie, construction du modèle, calage sur données acquises dans la halle

Année 2, CIRAD St Denis : expérimentations vraie grandeur (sites de l'industriel), mesure des gaz, analyses composts, validation du modèle

Année 3, CIRAD St Denis et UMR SAS Rennes : utilisation du modèle avec industriel, rédaction de la thèse

Encadrement et moyens techniques :

ED VAS - HDR : Leterme, Walter, Ganry ?

Encadrement direct : JM Paillat, L Thuriès, P Robin

Appuis : F Guerrin (modélisation), JL Farinet + M Hassouna + technicien CIRAD (expérimentations), laboratoire CIRAD (analyses)

Comité de thèse : F Gauvrit (Filière Avicole Réunion), C Aubert (ITAVI), JP Steyer ou S Houot (INRA)

Caractérisation des MO transformées

Projet CIRAD-INRA à monter : forme ?

Objectif : acquisition de spectres IR sur MO d'élevage brutes ou transformées
transfert de méthodologie aux industriels partenaires

Moyens : données UMR SAS sur échantillons séchés ou congelés
analyses des industriels
données CIRAD Réunion et Montpellier (filère avicole)

Partenariat avec industriels possibles : IF2O, Filère avicole Réunion

Partenaires de recherche :

UMR SAS (V Parnaudeau, Y Fouad, T Morvan, S Menasseri)

CRA Gembloux (P Dardenne, P Agneessens)

UR Système d'élevage (P Lecomte, D Bastianelli)

INRA Tours